

1991年台風19号による被害と組織・住民の対応

—主として広島市における調査から—

1. はじめに
2. 調査方法
3. 台風による直接被害及び、塩害と組織の対応
4. 停電の住民への影響
5. その他のトピックス
6. おわりに

望月利男*
吉田義実**

要 約

1991年台風19号は、9月27日夕方、長崎県佐世保市に上陸し28日午後3時、オホーツク海で温帯低気圧にか変わった。この間、各地の観測史における最大風速記録を更新して、その史上まれにみる強風で各地に大被害をもたらした。

この報告は、広大な被災地のうち、特に大都市広島市に的を絞り、かつ主として電力途絶による都市機能支障・市民生活への影響さらには組織と住民の対応、電力を中心とする応急復旧の実態の調査に関するものである。電力はライフラインの要である。台風による直接被害とその後の塩害による停電、それに伴う断水、電話支障などが3日以上継続した地域もあった。一般的にいえることだが、大地震を別とすれば、長期停電・断水など我国では起こりえないと誰もが考えている。建物とその諸設備、その他の都市施設はそれを前提として造られ、維持されている。それゆえ、電力途絶時に広島市で起こった正に末端に至るまでの都市機能・生活支障の実体は大きな教訓を私達に与えてくれる。この報告では、それらの事実をできるだけ伝え、東京大都市圏など大都市の脆弱性を多分野の防災研究者・実務者と共に考え、日頃の備えの重要性を広く呼びかけたい。

* 東京都立大学都市研究センター

** 東京都立大学都市研究センター研修員（東京消防庁）

1 はじめに

1991年台風19号は、10月27日夕方長崎県佐世保市に上陸し28日午後3時、オホーツク海で温帯低気圧に変わった。この間、各地の観測史における最大風速記録を更新して、その史上まれにみる強風で各地に大被害をもたらした。

筆者は広大な被災地のうち、特に大都市広島市に的を絞り、かつ主として電力途絶による都市機能支障・市民生活への影響さらには組織と住民の対応、電力を中心とする応急復旧の実態を1992年3月に調査した。

広島市の被害は強風によるものおよび海岸部の高潮による浸水もあったが、何よりも不意をつかれた塩害による電力途絶と、それにとまらぬ断水によるものが注目される。中国電力㈱の広島地域の配電系統は塩害への備えが不十分だった。だから復旧マニュアルもなく、他電力会社からの応援も得て人海戦術で対応せざるをえなかった。電力はライフラインの要である。広島市内でも長いところでは3日以上、停電・断水、そして電話支障が起こった。

台風は地震のように突発的な事象ではない。だが、広島市は近年、大きな災害を受けていない。よって「史上まれに見る強い台風の上陸の可能性大」と気象庁が警告しても組織・市民ともに事前の備えは不十分だった。一般にいえる事だが、大地震時を別とすれば、長期停電・断水など我国では起こりえないと誰もが考えている。建物とその諸設備・その他の都市施設はそれを前提にして造られ、維持されている。それゆえ、電力途絶により広島市で何が起こったのか、その実態自体が大きな教訓を我々に与えてくれるはずである。教訓は断片的な会話の中からさえも伝わってくる。この報告では、そのうちの主なものを記述し、東京大都市圏など大都市の脆弱性を多分野の防災研究者と共に考え、日頃の備えの重要性を広く呼びかけたい。

災害は必ずやってくるのだから、それを忘れないために。電力供給途絶などは、いつ起こっても

不思議ではない。特に首都圏などでは夏の電力供給のピンチは定常化しつつある。また、直下型地震の発生期も近づきつつあるといわれている。だが、日常的には災害のことなど考えないようにしているだけなのだ。この報告はそのような状況に対する警告でもある。電力供給途絶は、巨大都市圏では、全ての都市活動・生活基盤を容易に崩壊させる。私たちの生活は正に、まさかと思う末端まで電力により支えられているのだが、普段はそれが見えていない。そのような実態を表す発見的な事実も本報告で見出せるだろう。もう一度、私たちは身の回りを注意深く見直そう。そうすれば、電力供給途絶の恐ろしさを実感するに違いない。

2 調査方法

現地調査に先立ち、まず1991年9月28日～1991年11月28日の朝日、産経、日経、中国、読売の各新聞の台風19号関連記事に目を通し、主な調査項目と調査対象機関を選定した。主な調査項目は広島市を中心とする電力供給途絶とその影響ならび復旧についてである。また、主な調査対象機関は広島市消防局、同水道局、同経済局、広島県警察本部、同総務部消防防災課、社会保険広島市民病院を含む4箇所の公立病院（当方と病院側担当者の都合を考慮し、市消防局に訪問先の決定をお願いした）、中国電力株式会社、NTTである。調査方法はそれぞれの機関の部局長、病院長などに文書により3月23日～同27日中のいずれか先方の都合の良い日時に当方がうかがうこと、については台風災害発生の前・事中・事後の対応（諸々の機関相互や住民との情報の送受信や、主として電源等バックアップシステムの稼働（装置のあり、なし）、などを含む）、被害内容と対応処置、復旧関連（方法・費用など）の情報などに関する資料を用意しておいて頂き、また聞き取り調査を行うにつき災害対応などに当たった担当者で面談したい旨を予め伝えた。

以上のような手続きのなかで特に市消防局には、上記の全機関に当方の調査目的、内容についての周知（再確認）と日程調整をお願いした。最

終的には同局が持つほぼ全ての台風関連資料の提供とその説明、および5名以上の局職員からの聞き込み、当方が関心を持ちそうな事象に関する話題についてフリーに話をし頂き、さらなる情報を得ている間に、ほぼ完全に諸機関とその担当者と会う日時を設定してくれた。さらに終始、同局職員が筆者と調査行動を共にして頂いたお陰で短期間にもかかわらず予定した(目標とした)調査以上の資料の収集と聞き込みができた。

さらに、昼・夕食や移動車中において、新聞報道内容等の確認、同局員達も災害体験者であるとともに防災活動の担い手でもあったことから、調査期間中終始、私的・公的に興味ある話題の提供を受けた。

3 台風による直接被害及び、塩害と組織の対応

3.1 被害概要

台風19号は長崎県上陸時935 mbと、上陸時の中心気圧としては我国の観測史上4位タイの非常に強く高速の“いだてん台風”であった。被害地域は広大であり、災害救助法適用県だけでも、7つの県にわたる。

死者は全体で60人、負傷者2,586人、住宅被害は、全壊1,146棟、半壊10,722棟、床上浸水5,114棟であり、とりわけ農作物、そして林業に重大な被害を与えた。

また、この災害で特徴的なのは被害の発生が、発生時期から見て大きく2段階に区分されることである。

まず第1次災害は9月27日(金)から28日(土)にかけての最大風速60m近い強風にとまなう風害であり、ちょうど中国地方が暴風雨圏内に入ったとき、瀬戸内海が上げ潮となり、南から北へと吹き付けた強風が海水を高く巻き上げ、海岸から40 kmも離れた内陸部まで塩分を飛ばした。この時の広島市の雨量がわずか8 mmという雨の少なさも災いし、ガイシ等に付着したままになった塩分が第2次災害を引き起こした。

2次災害による被害は9月29日から降り始めた

秋雨前線に伴うシトシト雨により、電柱や配電線のガイシにこびりついた塩が流れだし、あちこちで電流がショートしたために生じた停電による被害である。この後も10月17日未明からの雨で発生した戻り停電をはじめとして、幾度となく停電が発生した。

この報告は広島市に焦点を絞ったものであるが、広島市に対する県や中国電力などの対応が関係するため、以下の被害全般については広島県、電力については中国電力管内について概観する。

県下の人的被害は、死者6人、負傷者49人(うち重傷4人)、住家被害：全壊48棟、半壊439棟、一部損壊22,661棟(屋根瓦の被害が多発)、床上浸水3,008棟などであり、広島市での観測最大瞬間風速58.9 m/sを考えれば、人的被害が比較的軽微であったことは不幸中の幸いであったといえよう。その他の被害で20億円、商工業の約150億円などである。林業被害は約49億円であり、特別に目立つ被害額ではないが、近年の松喰い虫による被害に加え、あの強風で折れたり倒れた木々、そして塩害による落葉など林野の荒廃が目についた。このことは山林火災危険度が高いことを示すが、近年それらの山林に近接して住宅地がスプロールしており、林野火災と市街地の混合火災の危険性も考えておかねばならない課題である。因みに、広島市議会では大量に倒木したフサアカシアおよびヒマラヤスギなどについて議論があり、今後は街路樹として採用しないこととなった。

3.2 広島市の水害と対応・課題

広島市の水害は、海岸およびその河口近傍地域の高潮による被害であり、浸水面積は限られていたが、もし3時間台風の通過が遅かったら満潮時と重なり、広島旧市街地(中心街)は全面的に浸水したと地方新聞などに取り上げられ、防潮堤の補強、水防体制の大幅見直しを迫られている。なお、広島市の浸水被害は床上736棟、床下2,173棟と、強風による全壊189棟、半壊630棟、一部損壊6,313棟に比べれば被害は相対的に軽微ではあった。一部損壊のほとんどは屋根瓦の被害であり、その復旧は主として地元の人的資源の制約(職人

の絶対数の不足) および資材不足から長期間に及ぶ。だから台風から6ヶ月後の1992年3月末現在でも屋根にビニールシートを張った家屋がかなり認められた。そのなかには屋根全体が吹き飛ばされた建物も含まれる。なお、台風直後このビニールシートの大量調達に住民達は大変な苦勞を強いられた(行政等からの供与・貸与はなかった)。

広島地方気象台の記録、最大瞬間風速58.9m/s、これは想像に絶するが、ビル街の建物内部にいた人たちにとっては恐怖を感じるほどのものではなかったという。だから広島市の都心部にある中国地方、広島県、広島市の中枢機関を担う機関とそこで働く人たちも、その後起こる塩害の影響の重大さまでは予期していなかった。とりわけ電力シフトの影響についてである。特に塩害による停電については、一般の行政、防災担当者は十分な知識をもっていなかったし、中国電力の職員たちさえ予期していなかった。さらに、強風のため台風通過時には、消防、警察署員たちでさえ強風・高潮被災地などの屋外での活動は困難を極めた。加えて電話の故障・輻輳のため被害情報は把握できなかった。ために強風や高潮による被災住民の反発を買い、広島市議会でも対応の遅れが相当な問題になったが、行政職員等の対応の遅れを責める訳にはいかないだろう。というのも、浸水は防

潮堤が不備なためであり、ハードな対策が必要不可欠である。また強風時の屋外での情報収集などの活動は職員の生命の安全に関わる問題である。いずれも、ソフトの対応には大きな限界がある。

3. 3 中国電力の被害

3. 3. 1 台風による直接被害

この台風被害で特に注目されたのは、強風と塩害による中国電力の被害である。表-1、図-1に中国電力管内の停電状態を示す。需要家数の40%が停電(広島営業所管内においては実に99%にあたる39万戸が停電した)、そして最長停電日数は6日間強(154時間)に及んだのである。図-2、図-3は中国電力本店と広島支店の停電戸数の推移を示す。両図における最初の停電戸数のピークは、強風による直接的影響であり、強風域の推移

表-1 停電状況総括

最大停電戸数	1,552	千戸
最大停電率	40	%
最大発生日時	H3/9/28	2:00
延べ停電戸数	2,501	千戸
延べ停電率	65	%
最長停電時間	154	時間

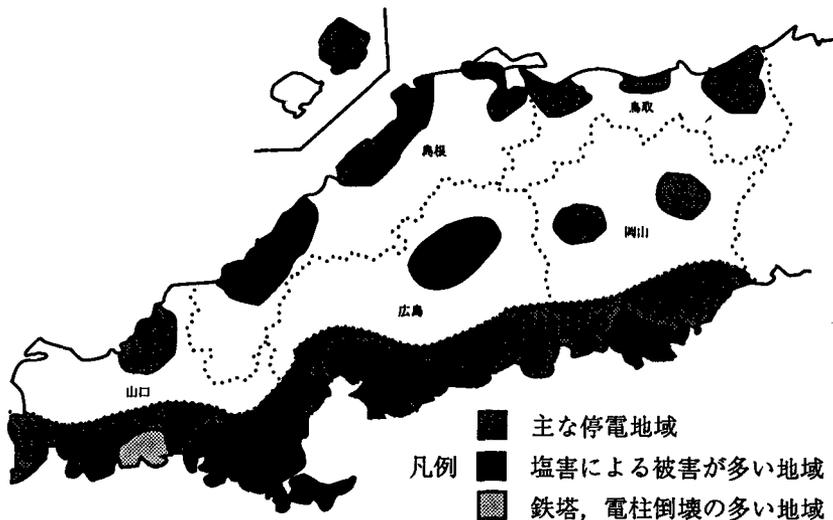


図-1 台風19号により被害を受けた地域

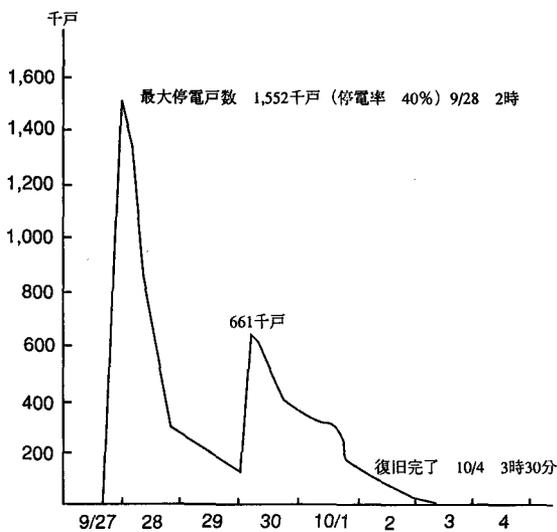


図-2 停電戸数の推移 (中国電力本店計)

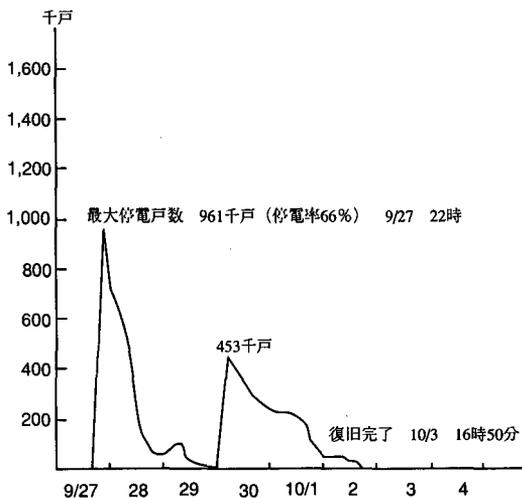


図-3 停電戸数の推移 (中国電力広島支店計)

にともないピーク時間にタイム・ラグ（広島支店の方が早く発生）がある。強風による被害を発電所の種別、及び設備別にみると発電所関係の主な被害は水力発電所が、建物関係の一部損傷7箇所、えん堤用線路の電柱倒壊4箇所、断線等計49箇所の被害が生じ、火力発電所では送電線事故波及によるユニット停止が3ユニット、建物の一部損傷8箇所等であったが、原子力発電所では被害がみられなかった。設備に関しては送電設備が鉄塔の倒壊（5線路9基）、電線断線（12箇所、8

線路）。変電設備が建物・外柵破損（28箇所）。配電設備は電線の断混線3,894径間（うち広島支店管内34%）、及び配電線支持物の折損・倒壊・傾斜5,686本（全配電線支持物の0.4%）。なおこれは樹木倒壊や飛来物によるものが72%を占め、残りは強風によるものである。また被害を受けた支持物を種別にみると鉄柱0%、コンクリート柱0.07%に対し、木柱は0.29%と4倍以上の被害率を示している。

3. 3. 2 塩害による被害

図-2に示すように強風による直接被害の応急復旧は台風通過直後から他社の応援も得て開始され、停電戸数も最大155万2千戸から9月30日0時現在13万戸までいったん回復した。しかし、9月30日未明からのいわゆる“シトシト雨”は、台風により海岸から40kmも内陸部に吹き飛ばされた海水の塩分を配電線のガイシや電線（強風による塩分付着）部分で徐々に溶解させた。その結果、高濃度の塩水が流動して漏電を招いたのである（図-4）。したがって、この雨がより激しく塩分を急速に洗い流していたら、この原因による電力シフトは避けられたとも考えられている。

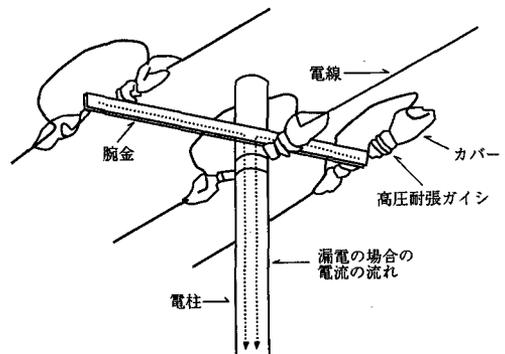


図-4 塩害による漏電発生の図解

塩害による新たな停電は約53万戸に達し、合計約66万戸（延べ停電戸数約250万戸）が停電となる事態に至った。うち広島市分は30日6時現在約25万戸（広島市の約70%）を数えた。

塩害による被害を発電所・設備別に詳しくみると発電所では、水力発電所が屋外設備ガイシの水洗（水洗を行うためには運転を停止しなくて

はならない) 2 箇所、火力発電所では母線ガインの破損 2 ユニットがあり、これは予想を上回る急速な汚損進行により水洗限界を越えてしまったものと強風により高所のガイン(母線ガイン)に対する洗浄効果が得られなかったことによる。また原子力発電所では被害はみられなかった。設備別では送電設備のガイン破損が 21 線路 46 箇所が発生そのうち 44 箇所(約 96%) が海に面した川及び谷沿いで発生している。変電設備ではガイン破損 7 箇所、破損には至らなかったが水洗・洗浄を要したものの 44 箇所が発生した。またガイン破損については、一般地区で想定以上の塩分が付着したことによるものが 1 箇所であるのに対し、汚損区分相当の絶縁への未改修箇所が 6 箇所あった。配電設備では表-2 に示す通りガインの破損計 315、高圧カット計 2,893 等の被害があり、変電設備と同様に要塩害対策地域内での非対塩型機器(一般型)の被害率の高さが目立つ。事前の汚損区分に相当した機器の改修が行われていれば、ある程度の被害に食い止められたといえるだろう。

強風による被害を含めると中国電力の被害額は、水力発電所 4,600 万円、火力発電所 8 億 7,000 万円、送電設備 9 億 4,000 万円、変電設備 1 億 5,000 万円、配電設備 52 億 9,600 万円、通信設備 1 億 3,700 万円、その他の被害 2 億 400 万円で総被害額は 76 億 4,300 万円にも達し、そのうち配電設備の被害額が約 7 割を占めている。

3. 3. 3 事中、事後の対応

中国電力は非常災害対策規定をもっており、前記の強風による電力供給途絶に対しては、迅速に対応できたが、塩害による大規模災害は予想していなかったため、塩害洗浄車や塩害洗浄機はもっておらず、それらは他電力会社の応援に期待するしかなかった。結局、洗浄車 9 台、洗浄機 33 台を含む高所作業車 161 台、工作車 247 台、およびその他の復旧資材と、人員 1,086 人の他電力会社からの応援をうけ 10 月 4 日 3 時 30 分に完全復旧するにいたったのである。この間の延べ動員人数は 49,684 人に達し、まさに人海戦術による復旧作業を強いられた。表-3 に各電力会社の応援内容及び応援要請を受けてからの平均到着時間を示したが 5 電力の平均到着時間は 11.68 時間であり、当時の停電地域の交通混乱を考えれば迅速な対応がなされたといえるだろう。特に東京電力では平均 5.88 時間であり非常時の応援体制システムの整備の高さをうかがわせる内容となっている。

今後の塩害対策として、中国電力では要塩害対策地域内の非対塩設備の早期改修はもとより塩害対策地域の設定そのものの見直しを行うこととしている。また今回の風害ではあまりの強風により高所での洗浄効果が得られなかったことを教訓として、強風時に洗浄効果の高い水幕装置の設置と、事後の水洗に機動性を発揮する移動式水洗車、活線洗浄機を配備することとした。更に今回の塩害

表-2 配電設備機材の被害数

	要対策地域内		要対策地域外	合計
	耐塩型機材	一般型機材	一般型機材	
ガイン(個)	1	72	242	315
高圧カットアウト箱型(個)	57 (0.05%)	1,406 (1.31%)	1430 (0.15%)	2,893 (0.24%)
柱上変圧器(台)	15 (0.02%)	172 (0.32%)	236 (0.05%)	423 (0.07%)

表-3 各電力会社の応援状況

	人員 (人)	高所 作業車 (台)	建柱車 (台)	工作車 (台)	平均応援 到達時間 (時間)
関西電力	456	58	26	89	10.2
四国電力	111	16	3	18	10.3
東京電力	259	48		63	5.8
中部電力	182	26	9	41	13.0
九州電力	78	13		36	19.0
合計(平均)	1,086	161	38	247	(11.7)

では塩分付着箇所の特が困難であった為、自動塩分測定装置を設置し塩分付着箇所の早期発見を可能にすることとした。

強風による直接被害（停電）期を含め、9月27日から10月3日までの停電家庭などに対する対応の状況は、表-4に示すとおり苦情や問い合わせ電話の着信件数が平常時の392倍、受け付け件数が71倍と混乱をきたした。そのような状況に対応するため窓口電話対応要員を昼間で平常時の17倍、夜間で43倍に増強し、またPR要員を18倍、電話回線数を昼間時7.6倍、夜間時12.6倍に増員増設した。しかし、要員による直接対応は大幅に制約され（問い合わせた人のうち実際に中国電力の係員とコンタクト出来た人は約47%）、テープで「……復旧の見込みは立たず」をくり返したため、相当な反発があった。住民や事業者（所）にしてみれば、いつ回復するのかが最も重要な情報であったが、中国電力はそれに対応できなかった。それでマス・メディアを最大限活用し、お詫び・お知らせ等の広報活動も行った。

中国電力では今後このような情報提供問題に対処するため臨時増設電話回線数の各事業所ごと50%増、一般社有車にマイクを設置し広報車として利用、セスナ・飛行機等による広域周知体制づ

くりなどを計画している。

3. 4 NTTの被害と対応

NTTの被害としては、電柱192本に上記と同様の被害型があり、NTT広島支店の管轄する67営業所のうち1営業所を除く66営業所が平均7.6回、一回当たり2.2時間（計平均17時間）停電したが、NTTでは最低3時間から、最長36時間使用できる蓄電池と、18時間運転可能（燃料の保有量による算定）な自家発電機を備えており（表-5）、これと併せてリース電源、及びNTT所有の移動電源車等にて対応した。また2箇所の営業所ではサーモスタットの故障により冷却水の温度が異常上昇し自家発電機が停止してしまうという事態が生じたが、消防署にポンプ車を要請し冷却水の交換をしてもらうなどして対応した。結果としてNTTの各営業所ではほぼ想定時間内の停電でおさまり、自家発電等により電力供給の途絶を免れたが、災害時は予想以上の電話輻輳があり平常時の何倍もの電力負担がかかるため蓄電池耐用保持時間以前の電圧低下や、自家発電機冷却水の異常な温度上昇を引き起こすこともあり（冷却水容量設計は10時間）、設計どおりのバックアップ電源の確保は難しいという教訓を残した。

表-4 需用家の問い合わせへの対応状況

		件数	平常時に対する割合
電話着信件数		317,731 (8,132)	39 倍
受け付け件数		119,099 (1,671)	71 倍
窓口電話対応要員	昼間	42,623 (271)	17 倍
	夜間	2,956 (43)	43 倍
PR要員		1,486 (82)	18 倍
電話回線数	昼間	2,260 (295)	7.6 倍
	夜間	1,790 (142)	12.6 倍

()内は平常時の平均件数

表-5 NTTの長時間停電対策の現状

	蓄電池保時時間	自家発電による停電対策	備考
自家発電機設置ビル	3時間(有人) 4時間(無人)	18時間	冷却水容量設計は10時間。実態は負荷率、地中への放熱、季節により30~40時間は連続運転可能
一般ビル	18時間		停電時間が長い場合は集中配備の移動電源車により救済
長時間停電対策ビル	36時間	自家発電の固定配備	保守者のかけつけにより自家発給電(12時間)

注：蓄電池の算定は計測尖頭電流の10%・自家発電の連続運転時間の算定は残油量

N T Tの広島市における被害の9割は一般家庭などにおける強風による引込線の損傷によるもので、総計9,613件が全面不通となった。この損傷は不通地域の特定が困難な特徴をもち（不通地域が面的でない）、復旧は困難を極めた。またコードレス電話・多機能電話の使用不能が目立ち、ビル等では停電のため使用可能な電話が大代表電話だけという事態が多数発生した。これはビル等の電話は停電でも大代表の番号にはつながらるが、館内の子電話には別の独自の電源があるため、ビルが停電になると使用不能になってしまうためである。このことは一般家庭においても最近流行のコードレス電話や多機能電話については同じことがいえ、これらの使用不能が目立った。

N T Tでは今回の電力供給途絶を教訓として蓄電池の耐用保持時間の算定電流の大幅なアップ。自家発電機の連続運転可能時間の管理を残油量だけでなく、冷却水の温度上昇の面からも管理していくこと。携帯用発電機の低騒音化、などを計画している。

3. 5 断水と広島市水道局の対応

広島市の強風による主な被害は配水管の破損が2箇所と比較的軽微なものであったが、9月27日19時から28日6時までの停電の影響で、取水場(特別高圧2回線で受電)・浄水場とも自家発電機に切り換えることになった。だが、パワーの不足は十分に補えず、高台・丘陵地区に給水するための110ヶ所の揚水ポンプ所のうち94ヶ所が停電により揚水できず、28日朝から高台・丘陵地区で断水が発生、29日17時の完全復旧まで延べ14,300戸が断水した。

次が塩害による影響である。30日7時57ヶ所のポンプ場の機能が再び停止、30日夕刻から一部高台・丘陵地区で断水が始まり、10月1日の15時をピーク時に25,500戸が断水、完全復旧10月2日17時までには延べ28,500戸が断水した。すなわち、28日からの延べ断水戸数は42,800戸、市域周辺の高台・丘陵地区では42時間に及ぶ長期断水となった。

このほか断水区域外でも受水槽方式のビルやマ

ンションが揚水ポンプの停止で29,000戸強が断水状態になった。市の水道局は、10月1日の560人(うち応急給水要員200名)を最高に、延べ2,200人以上を動員し、情報収集・広報・問い合わせや苦情対応・応急給水に当たった(表-6)。

表-6 広島市水道局の職員、資機材投入状況

	日付	職員の動員数 (応急給水)	給水車(台)	ポリ容器(個)	断水戸数 (戸)
強風による 停電	27日(金)	47			
	28日(土)	415(150)	7	1,280	10,000
	29日(日)	200(85)	18	761	1,400
塩害による 停電	30日(月)	480(180)	20	2,600	16,500
	1日(火)	560(200)	20	2,600	25,500
	2日(水)	510(190)	20	2,000	25,500
	3日(木)	29(9)	6	0	400

当然ながら中国電力との連絡が最重要であり、当初は電話を用いたが、電話の輻輳に加え「……復旧見通したはず」、そしてテープがそれをくり返すという状況のため、要員を中国電力に急ぎょ配置し、水道施設の最優先復電を強く要請し続けた。その努力が、中国電力の復旧戦略に影響を及ぼしたことは確かである。

なお、現地作業班と水道局の連絡は業務用回線で行われていたが、一時的ではあれ無線統制を行わなければならないほど混雑したということは防災面で大きな教訓を残した。

このような事態での応急給水活動は大都市災害時の重大なテーマであり、その実態を知ることは筆者の調査目的の一大焦点でもあった。市では給水車20台(2t車2台・1.5t車3台・1t車16台を所有)とポリタンク(容量20ℓ2,459個・10ℓ93個を所有)2,600個を使用(表-6)、市指定上下水道工事業協同組合の協力も得て給水活動を実施した。この対応でも広報が重要となる。例えば、応急給水実施場所・時間についての巡回広報や防災無線、町内放送が利用された。また夜間の給水では停電のため照明設備が必要となるが、それが不備なため、一部住民から不満があったという。

前述の理由で断水状態になったビル・マンションについては、近辺の公園や学校の直圧給水栓を開放したり、消火栓(消火栓から出る水はすべて浄水と考えてよい)に応急給水栓(26個所有)を

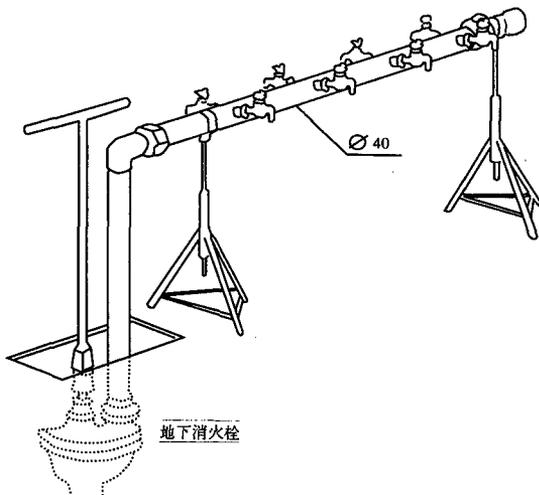


図-5 応急給水スタンド

仮設して対応した（図-5）。

断水や応急給水に関する広報は上記のほか、マス・メディア、広報車69台で行ったが、それでも問い合わせや苦情などの電話が殺到し、ピーク日で2,600件、総数6,600件を数えた。

復旧については復電後、基幹施設から周辺高台地区の末端施設に向け、順次ポンプの起動－配水池への充水と洗浄－残留塩素測定の手順で給水を再開したが、給水には復電から22時間を要したとあり、このことも応急復旧の大きな教訓となる。

なお配水池については、常に消化用水を確保するため、50～60cmの水位を残しておいた。この配慮は1991年オークランド／パークレーヒル火災を調査した筆者にとって特に注目に値した。

広島市水道局では今回の災害を教訓として、長時間停電時には最優先で停電復旧を行うことを中国電力に要請するとともに、非常時におけるビルの給水確保のために、受水槽方式の建築物には1階部分に直結方式による非常用給水栓の設置を定め、4階以上の建物については3階までの直結方式と4階以上の受水槽方式の併用を定めることとした。

3. 6 病院の電源等バックアップシステムによる対応事例

筆者らが調査した中で、対応等が文書化されて

いたのは社会保険広島市民病院である。この病院は広島市都心部の中区にある。この地域は送・配電線が地下埋設方式の「キャブ方式」のため、停電時間は約2時間で断水もなく、自家発電（契約電力の約83%）で十分に対応できた。ために、他病院が停電のため救急患者受け入れができないことへの対応も受け入れ体制（人的）強化で行った。これには人工透析患者の受け入れも含まれる。

この病院が挙げる課題は、自家発電装置の長時間運転についてである。燃料保管の制約上、8～10時間が連続運転の限度である。そのため事後、必要燃料確保につき、重油供給業者（複数）と特約を結び、いかなる日時にも燃料補給を受けられる体制をとった。

とはいえ、自家発電が立ち上がるまでの40秒間の問題もあり、筆者調査時には無停電装置（契約電力の約6%・・・救命センター、観察室）の取り付け工事の実施中であった。またコンピューターに現在自家発電装置が接続されていないことや、電話不通時・交通渋滞時の燃料補給になお不安を持っている。

以下の病院も全て公立だが十分なヒアリングはできなかった（このようなヒアリングでは、病院側の幾つかの分野の専門家の対応が必要）。判明した範囲でそれらの対応を概説する。

広島市立安佐市民病院：停電8時間（27日20時から28日4時迄）、自家発電装置の能力は契約電力の67%、夜間の停電が業務にはむしろ幸いして、自家発電でほぼカバーできた。1992年内に、無停電装置を設置（契約電力の約1.7%・・・生命維持装置）。

県立広島病院：停電7時間、断水なし。自家発電能力；約55%。燃料保管；約24時間分。問題点；月2回程度自家発の試運転を行っているが、基本的に無負荷運転はすすを貯める原因となるため、長時間の運転チェックはできないので、なお長時間停電対策に不安は残る。無停電装置を事後に設置（11%）した。

広島市立船入病院：停電9月27日に1時間、同30日に8時間、その間は断水。自家発の能力（約43%）。自家発で最小限対応。初期の段階で自家発

が立ち上がらず、電源車借用。水のポンプアップ装置が自家発にリンクしていなかったため、給水車・そして人海戦術で水を確保。事後に無停電装置を設置(能力不明)、また給水ポンプも自家発にリンク。燃料補給手段はなお検討中。

以上は、いずれも相当にレベルの高い病院であるが、それでもなお回答が不十分であり、予備的調査の段階に止まった(直前に質問項目等は手紙で知らせ、かつ事前に消防局からアポイントメントをとり、さらに消防局員が同行したが)。総じて公立病院にも拘らず、バックアップシステムの能力が様々であり、それを含め病院防災のためのガイドラインが必要である。

3. 7 広島市消防局の対応

筆者がトピックスとして関心が高いのは、まず電力シフトへの対応である。NTTへのバックアップとして9月27日19時ごろより電話交換所に

非常用電源車を急派し対応した。また、NTTの2つの営業所が自家発電による操業時、サーモスタットの故障により冷却水が異常高温となったため、応援要請があり、その冷却水を消防用ポンプで交換した。なお、この冷却水交換の事例が示すように、一般の自家発は強制水冷方式が採用されているから、燃料の保管の重要性のほかに冷却水の問題があり連続運転時間が制限される。

また、医療機関への対応として、手術用のため発電機、電源車を計2ヶ所の機関に貸与した。さらに医療機関2ヶ所(高架水槽)に応急給水を実施した(ほか保育園1ヶ所)。以下に119番の受信、及び指令状況とその主な対応を示す。

(1) 表-7に示すように119番受信件数で通常時の2.15倍、救急・火災・救助・水防・警戒その他の指令がそれぞれ通常時の1.52、3.35、5.09、24.31倍となっている。図-6に示したように秋季(9月~11月)は年間を通じて最も火災の少ない季節であり、この期間中の火災発生がいかに多かったかということがうかがえる。

(2) 火災対応:台風に起因する火災が25件発生した(表-8)。原因は海水による短絡など“電気”によるもの18件(海水による短絡7件中4件は自動車火災)、停電による明かり用の“ロウソク”によるもの6件、“たき火”によるが1件である。注目すべきは、“ロウソク火災”であり、夜間の災害時につき、特に大きな教訓を残した。また停電時にスイッチを入れたままにして放置されていた電気器具が通電時に火災発生の原因となった事例が

表-7 119番の受信件数と指令状況

月・日	119番受信件数	指令件数					合計
		救急	火災	救助	水防	警戒その他	
9月27日	841	122	9	8	21	26	186
9月28日	516	104	6	2	7	13	132
9月29日	493	82	4			29	115
9月30日	611	80	8	1	1	86	176
10月1日	308	78	4	3	0	4	89
計	2,769	466	31	14	29	158	698
1日平均件数	553.8	93.2	6.2	2.8	5.8	31.6	139.6
平成2年中1日平均件数	257	61.04	1.85	0.55	0.20	1.30	64.94

表-8 9月27日~10月2日の間の台風に起因する火災の内訳

火災の内容		発生件数
電気によるもの	屋外高圧線によるもの	1
	海水による短絡	7
	引き込み線の火花落下	1
	電気冷蔵庫のスパーク	1
	過電流によるもの	1
	漏電	3
	スパーク	1
	絶縁劣化による発熱	1
	通電放置(キッチンヒーター・ドライヤー)	2
	小計	18
ロウソクによるもの	6	
たき火によるもの	1	
合計	25	

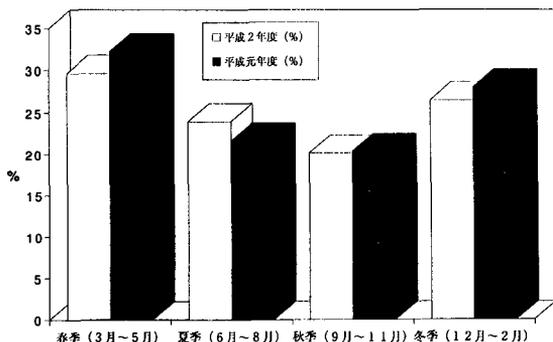


図-6 四季別出火状況(全国)

多く、復電後の電気器具の点検を呼びかける広報が重要であるという教訓を残した。また、塩害により電線またはトランスが火を吹くアクシデントが131件発生したが大火に到ることはなかった(消防の対応と台風が高速で通り抜けていったため)。

(3) 救急対応：台風による救急出動47件。主な負傷原因は、強風による転倒、看板などの飛散・落下等による。

(4) 救助対応：停電によりエレベーター内に閉じこめられたもの7件(エレベーター会社に直接通報されたものは含んでいないが、このタイプの事故は相当多数に達したと推測される)、ボート内に孤立したものの2件、負傷者は発生しなかった。

(5) ガイン等の洗浄：中国電力からの要請により、消防ポンプ車17台、人員64名を出場させ、合計117ヶ所にわたり、電柱上のガイン等に付着した塩分を洗浄した。なおこの洗浄作業に要した水量は80tである。これはテレビ等で全国に放映されたため有名だが、広島市内だけで3万本を越える電柱まわりにつき洗浄作業が電力関連会社により行われたのである。これはまさに人海戦術であった。

このほか、水防活動があるが、これは主として防潮堤に関することであり、その全面的改修には長年月を要するのが実状であり、応急対応には大きな限界がある。

それにしても、市議会において水防体制の甘さを指摘された事実もあり、水防も含め地域防災計

画の大幅な見直しが実施されている。見直しは主に情報連絡体制の整備が中心でありその内容は、気象台とのホットライン設置・中国電力とのホットライン設置・NTTとのホットライン設置・防災行政無線ファックスの増設・携帯電話の緊急借り上げ計画等である。携帯電話は災害時の通信輻輳時における情報連絡手段として、その能力には特に注目すべきものがあるが、表-9に示したようにその費用は欧米に比較して加入時に必要な新規加入料金、電池・充電器料金及び保険料で米国の15~18倍、英国の6~7倍であり、月額の基本料金においても米国の2.6倍~3倍、英国の2.4倍~2.7倍と高額なものとなっており、その本格的な導入にはまだ時間を要すると思われる。

その他では被害状況の把握についても、被害調査マニュアルを作成するなど、この台風を契機として総合的な防災対策の検討・策定が急ピッチで進められている。

3. 8 県警の対応

県警の対応でも特に問題になったのは、電力供給の途絶への対策である。

9月27日20時頃、広島市を中心に停電により交通信号機が不動作状態となり、街路樹の倒壊等も加わり幹線道路を中心に交通がマヒ状態になった。このような状況への対応が、県警の最大の負荷になった。

幹線道路の主要交差点には発電機も投入した

表-9 自動車・携帯電話料金の国際比較

	日本A社	日本B社	日本C社	アメリカ	イギリス
新規加入料金	45,800	44,300	43,800	5,000	12,500
電池充電器	34,000	29,500	31,500	なし	なし
保険料	10,000	8,100	なし	なし	なし
月額基本料金	17,000	15,000	15,000	5,750	6,250
* 通話料	86円/分 109円/分 (保証金10万円)	75円/分 100円/分	80円/分 100円/分	54円/分 プラス加入 電話網料金	83円/分 (グレーターロンドン内) 63円(上記以外)

* 上段は160kmまで、下段は160kmを越えるもの

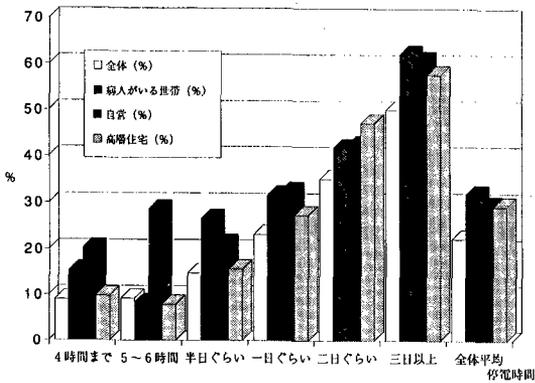


図-8 停電時間別に見た困窮度

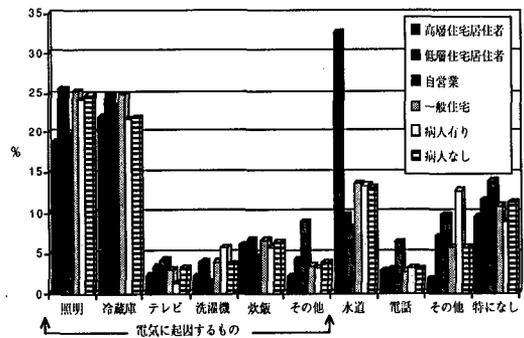


図-9 台風(停電)の影響で最も困った点

9)、特に冷蔵庫、水道(特に高層住宅、居住世帯では最高位となる)、照明、電話の順である。この回答のうち特に高層住宅(3階建て以上)居住世帯のそれは大都市の防災問題を考える際、極めて興味深い。

3日間も電力供給が途絶し、困窮度が上記の程度というのは意外である(とくに高層建物居住者の数値)。それは多分に様々な代替が効く地域だからと考えられる。広島市といえど、主要交通手段は自動車だし、通勤圏もその範囲内にある。水も給水車で対応できたのである。井戸水もかなり使えたようであり、貰い水の話も聞いた。相互援助行動もあった。例えば、高層住宅では若い人たちが高齢者のために給水車からポリタンクにいった水を運んであげたという。広島市消防局との話し合いのなかで、このような機会を活かし、防災コミュニティーの育成について提案した。東京都市圏だったら、こうはとてもしかないだろう。だが、1989年江東区南砂の高層マンション火災の後、防災を中心とした住民の近隣関係は相当に充実した。このような事例はほかにも幾つかある。

(2) 停電に対する意識(図-10): 全体平均で「今回の停電をやむを得ない」という人は37.9%、「何らかの対応が必要」という人は61.9%であった。3日ないしそれ以上でも、それぞれ29.3%、70.4%であり、やはり寛大である。1989年ロムプリータ地震のとき、サンフランシスコの人たちが、キャンドル・ライフを楽しんでいたことを思い出した。また、広島市消防局の幾人かの人たちが、

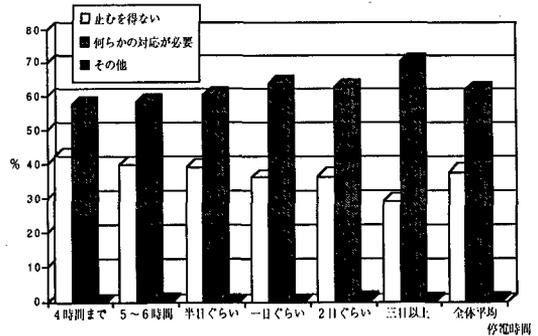


図-10 停電に対する意識

たまにはテレビの無い世界もいい。ローソクの明かりを囲んで家族のコミュニケーションを久しぶりにもてたともいう。暗くなったら寝て、明るくなったら起きる生活、それもたまには悪くないという人もいた。このような話も東京では通じないだろう。これも生活行動圏の違いや住宅の密度と規模(例えば高層共同住宅棟を含む大規模共同住宅団地など)、ライフスタイルに関連するからである。

なお、どの位の停電時間から許容できるかという問に対する回答は低層住宅で平均18.2時間、高層では同17.3時間、自営業で14.8時間とこれも予想外に楽観的な数値である。とりわけ高層住宅居住者や自営業者においてである。ただし、これは台風による停電であり、気象庁の警報等により少しは備えがあった結果とも考えられる(突然の地震による場合とは違うという意味)。

(3) 今後の停電への備え(図-11): 60~70%の

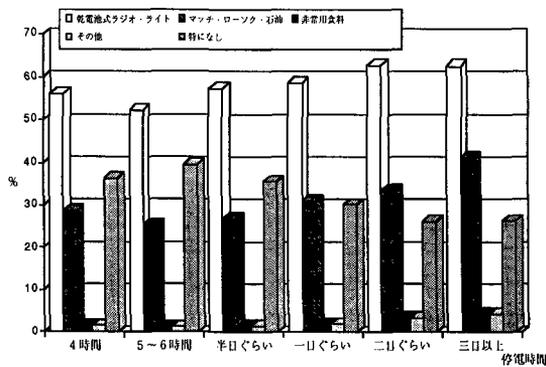


図-11 今後の停電への備え

世帯が、台風19号の経験から何らかの用意をしている、あるいはしようとしている。多い順に「乾電池式のラジオ、ライトの準備」、「マッチ、ロウソク、石油などの準備」と続く。停電が2日以上の上帯では、上記のほかに「非常用食料の準備」も挙げている(全体の7.2%)。このケースの場合、ガスは使えたのだが、電気以外の燃料で「ごはん」を炊くことは全く不馴れであり、パンやおにぎりが飛ぶように売れたのである。このような災害の備えでも30~40%の世帯が意識においても「特に備えをするつもりはない」の回答であり、防災意識の高揚の難しさを読みとれる。

以上の調査は全中国電力所轄地域でなされたものであり広島市分のみを数値としてとり出すことはできなかったという限界はある。とはいえ、今日我が国のいかなる地域といえども人々は都市的生活様式(都市的サービス)を享受している点では地域差はない。災害文化なる視点からすれば調査対象5県のうち島根県は災害多発県だが、(3)の設問に対する回答を防災意識とみなすなら、それがもっとも低かったのは島根県(36.5%)、最も高いのは県レベルでみて停電時間が最短の鳥取県(26.5%)、広島県は(30.0%)となる。

このような調査報告の地域差の解釈は、この報告ではとてもできないため、以上はマクロな結果とそのレベルでの見解に過ぎないことを断っておきたい。

5 その他のトピックス

(1) 電動シャッターの問題：かつてシャッターは電動であっても手動併用型であった。しかし、最近では電動のみのタイプが多く、例えば中国新聞社では、輪転機は自家発電で稼働していたが、用紙の倉庫のシャッターが開かず休刊に追い込まれそうになった。また、広島総合銀行のある支店では電動シャッターが開かないため、顧客を裏口から店内に案内するなどの事態が生じた。

(2) 停電で給油所の多くが閉鎖した。それは給油用のポンプが作動しなくなったためであり、長期停電時には自家発電器の燃料補給にも支障を来すことになり、今後の大きな課題として顕在化した。事実、中国電力さえその燃料確保につき手配を考え購入先を探したし、前記したように重要な機関も、約10時間の燃料しか保管していない。すなわち、給油所の給油システムの無停電化、交通渋滞下における燃料補給問題など検討すべき課題は多い。

(3) 東京多摩地域もまた広島市と同様に低地から台地・丘陵地への上水の給水は多くのポンプ場での加圧により賄っている(平坦地が少ない日本の都市ではそのようなシステムはむしろ普通)。したがって停電は断水に直結するし、高層建物でもそれは容易に起こる。それらのシステムの改善を全面的に行うことは技術的には可能だが、ぼう大な資金を投入しなければならない。というより、実質的に不可能であろう。

(4) 停電・断水的生活支障のため、広島市中心地で長期停電を免れた(電線の地下埋設下のため)ホテルやウィークリーマンションに緊急避難しようとする、主として電力、水の供給停止世帯からの宿泊申し込みが殺到した。すなわち一時的疎開であり、首都圏大地震時には、そのような現象が続出するだろう。広島市の場合、親戚などへの疎開も続出したが、このこともまた当然予測されるところである。問題は交通事情などがそれをどこまで可能にするかである。

(5) 観測史上まれな強い台風の接近・上陸の警

報下でも水の汲みおきどころか、バスタブの水さえ流してしまった家庭も少なくはなかったという。テレビを主とする災害への備えの呼びかけなど、このような事態への放送マニュアルづくりと実践が求められる(行政とメディアの課題)。なお、緊急時、災害の長期化に対するメディアの役割(広報を含む)の重要さが改めて見直された。

(6) 広島市でも自主防が組織されていた。だが、その活動はあまり伝わってこない。反面、防災無線用のアルカリ乾電池が切れ、液が流れだし、無線機が使えない、故障を起こしていたなどの話が伝わってくる。それで広島市は事後、乾電池の購入・供与を決定した。実体ある自主防の育成・訓練の困難さも考えさせられる災害であった。当然広島市内などのどの店からも乾電池は消えた。一般家庭でもせめて防災の日に乾電池のストックぐらいいはチェックして欲しいものである。

(7) 事業所でもコンピューターシステムがダメになり、諸々の機能がストップした。あるいはそれはバックアップ電源で稼働したが職員はローソクで仕事など、さまざまな状況が起こった。スーパーのPOSシステムが停止、全て手動に、それでもレジのお客対応ができず閉店など、銀行のATMやCDシステムが不動作など停電の波及は都市機能の全てに及ぶ。東京の電力供給危機が警告されて久しいが、その影響をツリーで表現したら(図-12にその一例を示した)、まさに末端の末端まで及び、都市機能・生活基盤は短時間のうちに崩壊することだけは容易に想像できる。

(8) 経済被害はぼう大なはずだが、大企業はそれを公表しない傾向があり(株価関連への影響があるためか?)、広島市経済局が把握している広島市の商工業被害額は29億円。ために市は区単位でも何ら災害救助関連法の適用も受けられず、市は

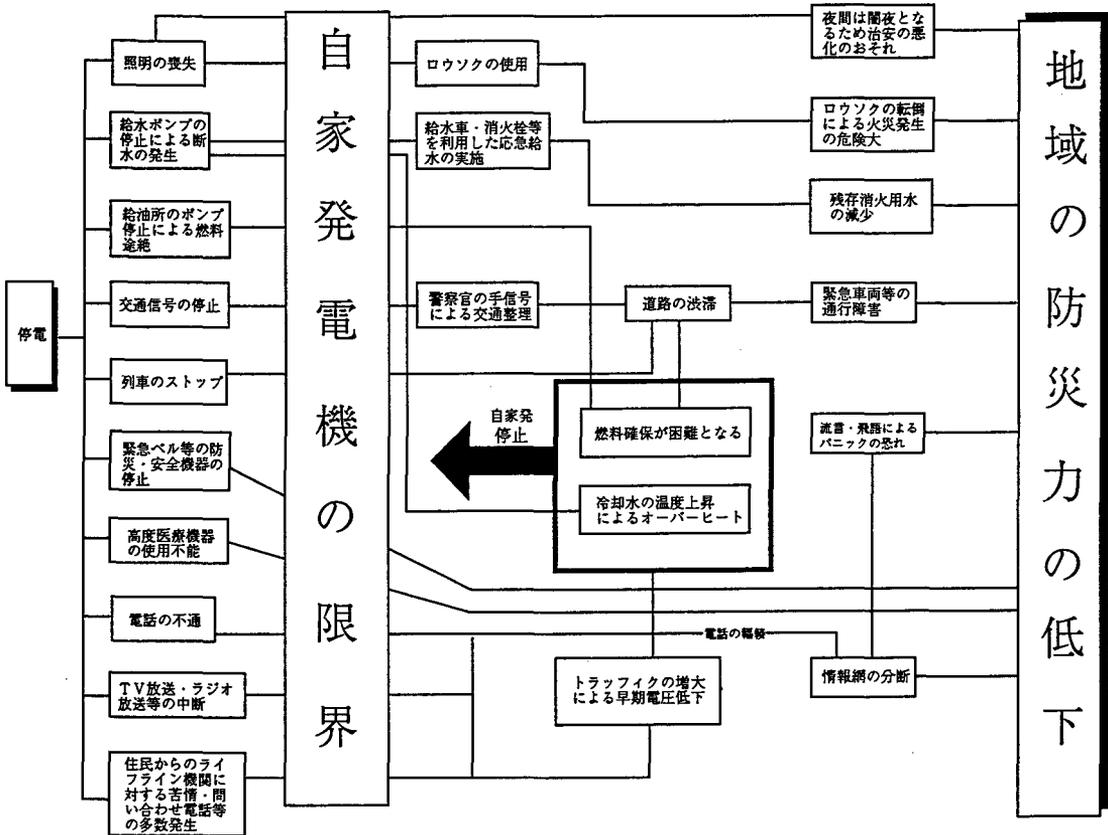


図-12 停電の波及効果による地域防災能力の低下

独自に中小企業者等に対し、災害復旧資金融資制度を設けた。都市災害は弱者をターゲットにする。このことは経済被害にかぎっても顕在化した現象である。

(9) このほか、電力供給支障への対応には直接関係はないが、問題になったこととして、水防活動がある。すなわち、増水や浸水に十分対応できず、その遅れが住民の不満を買ったという事実である。だが高潮対策は主として防潮堤に関することであり、応急対策には大きな限界がある。(例えば土のうなどではとても対応できない部分が多い)。

6. おわりに

台風19号とそれに伴う停電が主として広島市の諸々の都市・生活機能に及ぼした影響の実態を報告した。広島市等への入力は、強風→高潮→塩害(災害誘因は強風だが、塩害はこの地方では予想をはるかに越えた)であり、停電、断水、電話の支障、交通機関の混乱、物的・経済的被害などいづれもが、様々な災害誘因と災害素因(自然素因および社会素因)のからみで発生した。だが、都市的災害なる観点からいえば、最も注目すべきは塩害による電力シフトとそれに起因する他のライフライン被害と影響の長期化である。事業所等に対する一般の防災アンケート調査などでは停電への備えとして非常用電源(自家発電機)の「あり、なし」について設問する。だが、この調査結果からは、ありの場合でも「その容量は」、「燃料備蓄量は」、「冷却方式は」、「リンクしている設備等の内容」、「保守、稼働点検について」、「無停電装置のあり、なしとその設置設備」など詳細な調査の必要性のあることがわかった。特に医療機関や防災関連機関など災害時に重要な役割を担う施設についてである。

また、100万都市広島市の都市型災害といえども、同様の被害事象を東京などの巨大都市圏で想定した場合と波及効果が大きく異なるであろうことがわかった。すなわち、ライフライン災害の相互波及構造の総体としてこの災害を理解しても広

島市では対応できたのである(全国規模の電力復旧支援等があったが)。東京圏で公共交通機関が使えず、交通信号もダウン、そして断水、多くの電話が不通、このような事態を想定したら、どうなるかのシナリオは容易に描ける。

とはいえ、この調査を通して大きな教訓が得られたことは確かである。利便性を極限まで追及し、ハイテクに依存して日常的にも限界に達している巨大都市の脆弱性に対する教訓である。いま話題の首都圏直下型地震などを想定すれば、たとえば地震市街地大火は起こらないと仮定してもライフライン被害の発生は確実に予見できる。それにしても防災への関心があまりにも低い。

防災の日、9月1日の訓練参加者は近年減少傾向にあり、消防機関や自治体などの住民に対する訓練参加への呼びかけなどの苦勞は増すばかりである。とはいえ、広島市などの今回の高潮や塩害への備えとしては防潮堤の大幅拡充や耐塩ガイスの普及(交換)などハード面の防災対策が不可欠であることを示すし、非常用電源(自家発電機)の充実・普及も大きな課題となった。すなわち、地域の防災力を確実なものとするためのソフト面(人やその組織による)への期待には大きな限界があることを示したのがこの災害の特徴でもあった。防災におけるソフト面での限界をよく知ること、及びハード面(物的資源など)の充実の必要性、これこそがこの災害の最大の教訓である。具体的には、幹線道路の信号機や重要施設(公的施設だけとは限らない)の非常用電源装置の配備や拡充、飲料水や非常食の確保(家庭や事業所)などである。そのための防災教育(これはソフトといえよう)や投資は巨大都市にとって正に急務である。

末尾ながら、この調査では、広島市消防局の全面的な支援をうけた。それは資料の提供のみならず、当方がターゲットとする全ての機関・部局との交渉・窓口の特定、案内などにわたる正に格別なものであった。ここにそれを特記し、深甚の謝意を表します。また、年度末の多忙のなかで、当方の調査に快く対応してくださった中国電力広島支店技術部・同配電担当、NTT広島支店企画担

当課・同電力課、広島市水道局配水部配水課、広島市経済局商工消費部商工課、広島県警察本部警備部警備課、広島県総務部消防防災課、社会保険広島市民病院総務課、広島市立安佐市民病院庶務課・同管理課、県立広島病院総務課、広島市立舟入病院庶務課のそれぞれの担当の方々に心から感謝いたします。

文 献 一 覧

自治省消防庁

1991 「消防白書」平成3年版、pp.66

法務省法務総合研究所

1991 「犯罪白書」平成3年版、pp.87

Key Word (キー・ワード)

Injury from salt(塩害), Suspension of Supply of Electricity(電力供給の停止), Suspension of Supply of water (断水), Emergency Response (緊急事態対応), Socio-Economic Effects (社会・経済的影響)

Damages Due to the Typhoon 19, 1991 and Response of
Organizations/Inhabitants to Them
—Case Study of Hiroshima City—

Toshio Mochizuki* and Yoshimi Yoshida**

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**Tokyo Fire Department

Comprehensive Urban Studies, No. 47, 1992, pp. 5—21

This report shows the lifeline system interaction and its resulting socio—economic effects occurred in Hiroshima City during the large—scale suspensions of supply of electricity caused by the Typhoon 19 of 1991 and sequential injury from salt. On September 27, strong south winds struck the city and began the power failure for about 390,000 household ($\approx 99\%$ of customers), which lasted for the next five days for some customers. This is the first large—scale lifeline functional disruption occurred in those urban regions (cities) in Japan which have more than a population of one million after the World War II.

Based on the facts reported five newspapers between September 28 and November 28, we decided the way how we shall carry the on—the-spot survey. The Survey was executed in it was obtaining the data and hearing from the various public organizations including 4 hospitals, which implemented their emergency operations during pre—, and post—typhoon. Also, we carried on the interviews some private sectors and residents on their responses to this disaster.

The electric power company had little prepared itself for the damage by injury from salt. Therefore suspension of supply of electricity continued long time as mentioned above. Power disruption also created vast and profound effects on the various kinds of urban and daily life function: the suspensions of water supply, heavy congestions of traffic and communication systems and so on. It emphasized the various kinds of vulnerability of the society depending on high technology.

Study on Seismic Wave Characteristics and Seismic Intensity Distribution of the 1923 Great Kanto Earthquake Using Multiple Source Model

— For the Improvement of Accuracy Concerned with
the Estimation of Earthquake Disaster Prediction —

by

Takahisa Enomoto* and Toshio Mochizuki**

Table of Contents

1. Introduction
2. Progress and Method of Study
3. Determination of Ground Structure
4. Study of Middle-Scale Earthquakes
5. Study of the Great Kanto Earthquake
6. Conclusions

ABSTRACT

It is very important to investigate the reasonable in-put seismic wave characteristics for the earthquake resistant design of structures in civil and building engineering and also for the earthquake disaster mitigation program. Recently, it will be a common understanding that the index keywords for specifying the in-put seismic wave characteristics reasonably are the properties of seismic source mechanism, path of wave propagation and ground condition directly under the site and its vicinities. So we think that it will be necessary to consider the convolution of above mentioned properties and we have to recognize the regional property individually. Then we are making the simple data base for underground condition using the topographical and geological data and some other references concerned with underground structure in the Kanto District where is the capital region in Japan. In this paper, for the first step, we use the simulation method for evaluating the seismic wave characteristics and seismic intensity distribution of two middle-scale earthquakes occurred in this area and also the 1923 Great Kanto Earthquake theoretically using above mentioned data base and multiple source model.

Keywords: Great Kanto Earthquake, Seismic Wave Characteristics,
Seismic Intensity Distribution, Multiple Source Model

1. Introduction

One of the most basic and important items in designing the earthquake resistance of a structure is to determine the input seismic wave for the design in a reasonable manner, for the reason that this sometimes very much affects the structural design. In order to evaluate the input seismic wave at arbitrary points in the conventional method, source parameters are to be established compared with a number of observed records of middle- and small-scale earthquakes by using macroscopic fault model, and seismic zone needs to be studied while studying similarities of seismic wave characteristics. However, this model can hardly explain the characteristics of source in the case of a large-scale earthquake where the rupture process seems to be complicated, therefore a complicated behavior of the fault plane needs to be incorporated into the model. In such an earthquake, the specific barrier model¹⁾ (hereafter called the barrier model), which is one of the multiple source models that can explain the complexity of the fault movement by the uniformity, is often used in practice. Namely, a large-scale earthquake, such as the Great Kanto Earthquake (magnitude (M) = 7.9 by

*Faculty of Engineering, Kanagawa University

**Center of Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

the Meteorological Agency) which is supposed to have had an extensive range of fault plane resulting from consecutive occurrence of a lot of earthquakes, can be expected to be explained by using this model. The fault plane of the Great Kanto Earthquake was estimated by H. Kanamori²⁾ from the aftershock distribution, and the complicated rupture on the fault plane can be explained in relation to the scale of the main shock and aftershock and also to the regional constancy of the middle- and small-scale earthquake obtained from the existing study. By taking these effects as parameters and comparing with the restored seismic wave record of the Great Kanto Earthquake, the seismic wave characteristics will be obtained in the same manner as those of the middle- and small-scale earthquake. Besides, using these source parameters and the underground model of the underground structure, such as that found in the earthquake damage assessment of Kanagawa Prefecture, makes it possible to estimate to some extent the maximum acceleration value and input seismic wave at an arbitrary point. This study, while paying attention to the Great Kanto Earthquake from the viewpoint of the above, aims at obtaining an estimate of the input seismic wave characteristics of the main shock and the seismic intensity distribution of the metropolitan area.

2. Progress and method of study

Hitherto in the past method, the regional constancy of seismic wave characteristics was obtained by examination of a number of records of middle- and small-scale earthquakes ($M = 3 - 6$) with hypocenter

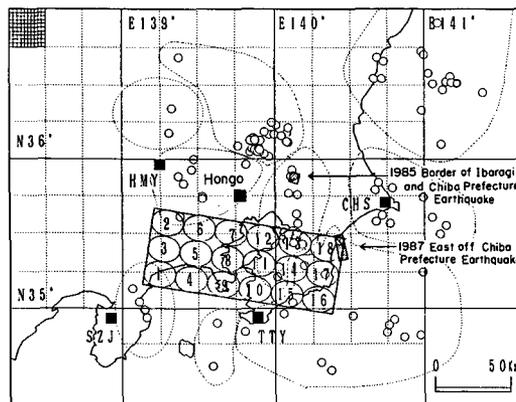


Fig.1 Location of fault plane and assumption of rupture process concerned with the 1923 Great Kanto Earthquake

located in Kanto area as illustrated with small circle (○) in Fig. 1.⁵⁾ Thereafter, primary parameters are to be established and the seismic intensity distribution evaluated through the examination of the Kanto Earthquake using the multiple source model made with respect to the regionality.⁶⁾ However, since all of these studies are based on the analysis by the elastic calculation as regards the earthquake response calculation of the ground, this brings about various problems concerning precision of the parameters and evaluation of seismic intensity distribution. In this study, in respect to the above points, two middle-scale earthquakes, the 1985 earthquake on the Border of Ibaragi and Chiba Prefectures and the 1987 earthquake East Off Chiba Prefecture ($M = 6.7$), are analyzed using the multiple sources model as an attempt to verify the validity of the analytical method before dealing with a large-scale earthquake. Thereafter, they are subjected to the comparative study with restored records in the Hongo Campus of Tokyo University, and the source process of the Kanto Earthquake is evaluated with respect to the effect of surface wave. In addition, the underground structure of the metropolitan area is divided into surface ground and basement to make a modeling, and evaluation of the seismic intensity distribution of the Kanto Earthquake is carried out to compare with the actual damage distribution by taking into consideration the plastic effect through the dependence on strain of the surface ground. The average image obtained from numerous strong motion records is compared with the analytical results to verify the source parameters and precision of the analytical method.

3. Determination of ground structure

It is necessary to determine the magnitude of the earthquake, hypocentral distance, characteristics of source, propagation path, and also local underground structure in order to obtain the seismic intensity of an arbitrary point. In this study, the layered soil structure of the Kanto area is roughly divided into surface ground and basement for making a model, and parameters for each ground structure are determined mesh by mesh. The grid is drawn up by dividing the mesh of 1° latitude and longitude into 4 divisions, and further into 10 subdivisions of about $2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$. The areas taken into the model are Tokyo and 6 prefectures, Kanagawa, Saitama, Chiba, Ibaraki, Tochigi, and Gunma, and the number of meshes amounts to 4,340 in total up to $36^\circ 40'$ north latitude. The classification of surface ground of Kanagawa Prefecture⁴⁾ is roughly sorted into 5 kinds, sandy soil, clayey soil, Kanto loam, peat, and basement. These 5 soils have given representative transfer functions, therefore, appropriate parameters of the surface ground must be determined to match the above functions with the analytical ones. (Table 1) Taking into account the process and method of the classification of the representative transfer function, comparison with other prefectures as regards the transfer function of the surface ground is made to determine which category of the 5 kinds they fall in. For the prefectures whose transfer function was not available at that time, the map of soil classification was studied to find out which category each soil type on the map belongs to, and the surface ground of the metropolitan area is illustrated in these 5 kinds as shown in Fig. 2. The thickness of layer located under the surface was calculated from the contour map of Quarternary bottom face and the contour map of seismic basement obtained from the existing study based on the geological structure map in the latter Cenozoic era, and the existing values were used as for S wave velocity, density, and damping factor.

Table 1 Assumed parameters of classified of surface condition type

Classified Surface Ground Condition Type	Thickness (m)	S-wave Velocity (m/s)	Density (g/cm^3)	Damping Factor (Q)
Sandy Soil	25.00	250.00	2.00	10.00
Clayey Soil	18.00	200.00	1.90	10.00
Loam	25.00	200.00	2.10	10.00
Humus	15.00	150.00	1.90	10.00
Basement	18.00	400.00	2.20	20.00

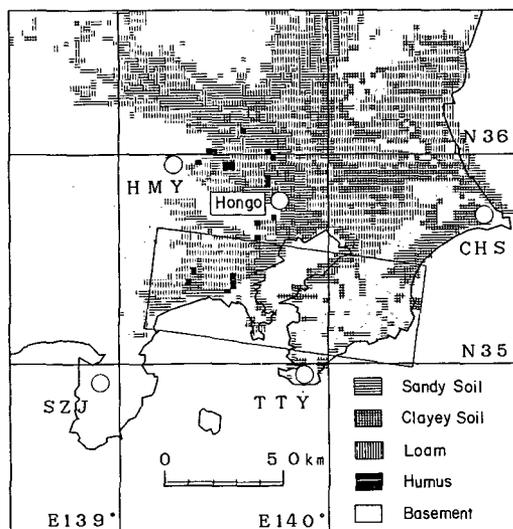


Fig.2 Map concerned with the distribution of classified surface ground condition

4. Study of middle-scale earthquakes

In this study, two earthquakes, the Earthquake East Off Chiba Prefecture and the Earthquake on the Border of Ibaraki and Chiba Prefectures, whose fault positions are marked with cross lines in Fig. 1, are studied while determining source parameters to establish, among other things, the study method of the Kanto Earthquake. In modeling the fault model, the multiple-source effect, which shows circular cracks being consecutively ruptured, was taken into consideration. The barrier model shown in Fig. 3 is used. The said

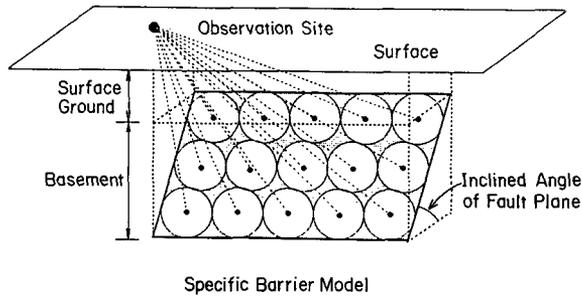


Fig.3 Conception of the multiple source model called Specific Barrier Model

model is assumed to have a rectangular fault plane made up of the assembly of small faults, i.e., circular cracks, and the clearance between small faults is regarded as a barrier. As rupture proceeds on the fault plane, rupture of crack is assumed to propagate. Addition of spectrum data produced from the individual circular cracks allows us to evaluate the seismic motion, therefore this model has often been used for a large-scale earthquake. Source parameters were repeatedly changed to closely approximate to the Fourier spectrum of the array observation measured at each observatory as shown in Fig. 1, Higashimatsuyama (HMY), Choshi (CHS),

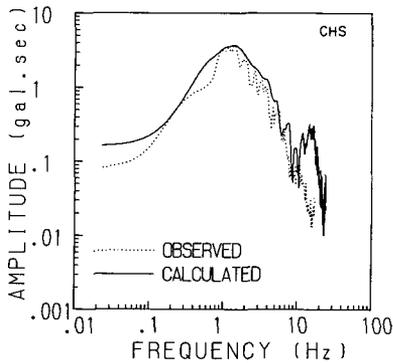


Fig.4 Comparison of Fourier concerned with the 1985 Border of Ibaragi and Chiba Prefecture Earthquake (M=6.1)

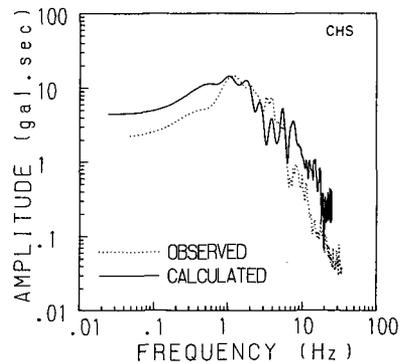
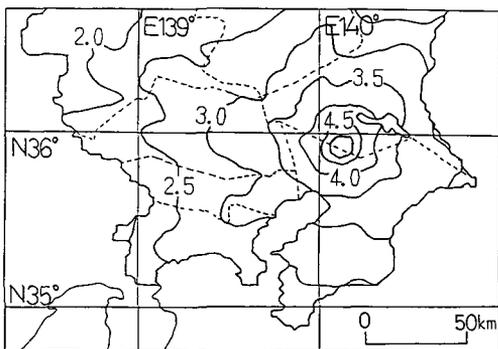
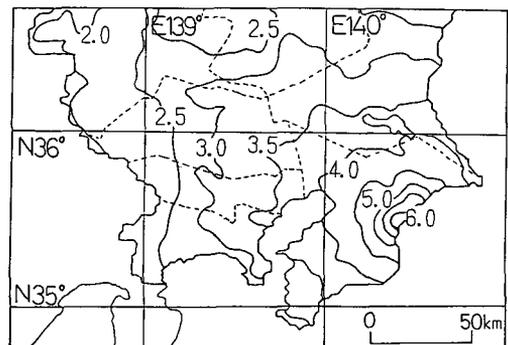


Fig.5 Comparison of Fourier Spectra concerned with the 1987 East off Chiba Prefecture Earthquake (M=6.7)



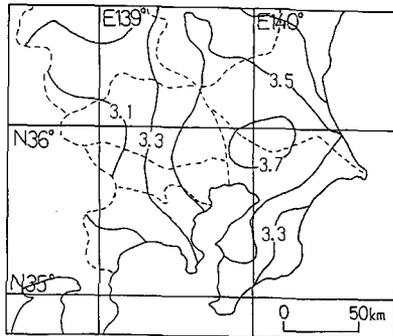
(a) The 1985 Border of Ibaragi and Chiba Prefecture Earthquake



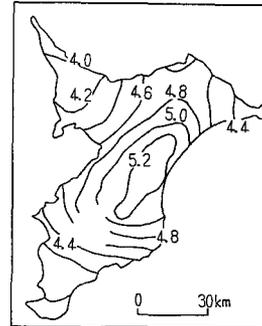
(b) The 1987 East off Chiba Prefecture Earthquake

Fig.6 Isoseismal maps indicated in JMA intensity scale by calculation method based on the multiple source model

Shuzenji (SZJ) and Tateyama (TTY), in due respect to the regional constancy obtained from the existing study, and only the body wave (S wave) was analyzed. It was found as a result that the analytical spectrum is coincident with that of the observed records at the observatory site (CHS) near the hypocenter of the earthquake as shown in Fig. 4 and Fig. 5. However, the iso-seismic map of the two earthquakes calculated from the maximum value of acceleration in each mesh appears to have larger distribution in particular at the point near the hypocenter than that (Fig. 7) of the existing study^{9) 10)} as shown in Fig. 6. Taking into account the above results, the Kanto Earthquake will be hereunder examined.



(a) The 1985 Border of Ibaragi and Chiba Prefecture Earthquake



(b) The 1987 East off Chiba Prefecture Earthquake

Fig.7 Isoseismal maps indicated in JMA intensity scale by questionnaire survey of seismic intensity distribution based on the former investigations

5. Study of the Kanto Earthquake

5.1 Estimation method of fault model and parameters

As a fault plane model of the Kanto Earthquake, Kanamori's model²⁾ of which fault length is estimated at 130 km and fault width 70 km, as shown in Fig. 1, is adopted. M. Kamiyama has extracted average images of spectrum from among numerous strong motion records, examined the barrier model, and deduced the expected values of the acceleration Fourier spectrum. Based on the above, he has obtained the average radius and number of cracks on the barrier model.

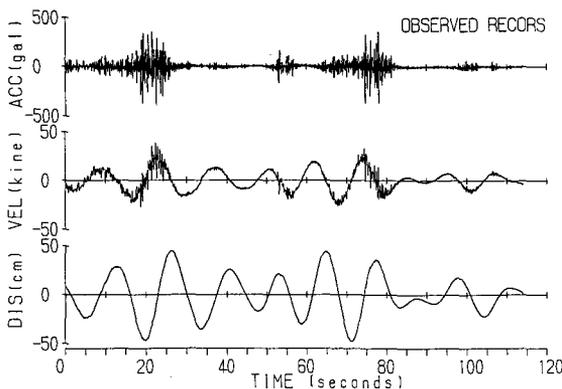


Fig.8 Synthetic seismic wave of the 1923 Great Kanto Earthquake by Morioka et al. based on the observed record at Hongo, University of Tokyo

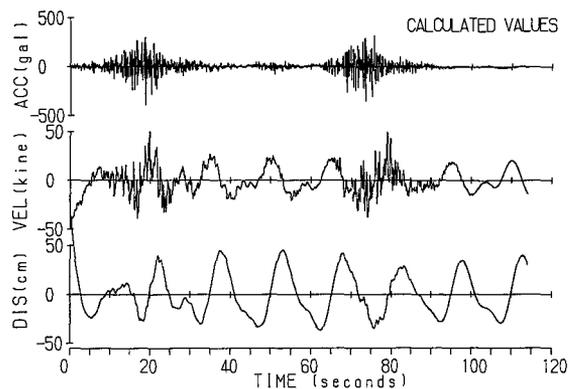


Fig.9 Synthetic seismic wave of the 1923 Great Kanto Earthquake based on the multiple source model

In this study, the number of circular cracks on the barrier model was set at 3 in south-north direction and 6 in east-west direction, amounting to 18 in total, according to the above study results, and the radius at about 11 km. Besides, the sequence of rupture was determined by trial and error on the assumption that rupture starts from near the west part of Kanagawa prefecture and Sagami Bay ($N35.4^\circ E139.2^\circ$), which is said to be the hypocenter of the Kanto Earthquake, and proceeds to the south-east direction in turn according to the number in Fig. 1. Source parameters are to be in general determined with due regard to the regional constancy estimated from the experimental formula and existing study results, and in this study they were determined through repeated operation until the analytical results become coincident with those of time history (Fig. 8) and Fourier spectrum of the observed record by T. Morioka and M. Yamada in the Hongo Campus of Tokyo University. As a result, each parameter used is tabulated in Table 2 and the theoretical seismic wave is shown in Fig. 9. Fig. 10 shows the contour line graduated by 3.2 bar line of local stress drop after being subjected to

Table 2. Assumed source parameters of the 1923 Great Kanto Earthquake

Order of Rupture Process	East Longitude (° ' ")	North Latitude (° ' ")	S-wave Velocity β (km/s)	Rupture Velocity V_r (km/s)	Radius of Circular Crack R_c (km)	Rigidity μ (dyn-cm)	Stress Drop $\Delta\sigma$ (bar)	Hypocentral Distance R (km)	Angle θ (°)
1	139,11,00	35,18,00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	12.00	67.1	57.6
2	139,19,00	35,38,00	5.00	6.50	10.83	6.25E+11	10.00	47.5	41.2
3	139,15,00	35,28,00	4.00	4.80	10.83	4.00E+11	25.00	53.2	47.6
4	139,24,00	35,14,00	3.00	3.60	10.83	2.25E+11	29.00	60.6	53.6
5	139,27,00	35,24,00	4.00	4.80	10.83	4.00E+11	12.00	45.3	36.9
6	139,30,00	35,34,00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	15.00	38.7	19.7
7	139,43,00	35,30,00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	15.00	37.5	13.4
8	139,39,00	35,20,00	4.00	4.80	10.83	4.00E+11	10.00	45.5	36.5
9	139,36,00	35,10,00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	10.00	61.6	53.8
10	139,49,00	35,06,00	3.00	2.70	10.83	2.25E+11	10.00	68.8	58.0
11	139,52,00	35,15,00	4.00	2.00	10.83	4.00E+11	15.00	55.7	47.6
12	139,56,00	35,25,00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	10.00	48.4	39.3
13	140,07,00	35,21,00	5.00	2.50	10.83	6.25E+11	15.00	62.2	52.2
14	140,05,00	35,11,00	4.00	2.00	10.83	4.00E+11	15.00	70.0	57.4
15	140,01,00	35,02,00	3.00	3.60	10.83	2.25E+11	10.00	80.6	62.9
16	140,14,00	34,57,00	3.00	3.60	10.83	2.25E+11	30.00	97.5	67.2
17	140,17,00	35,07,00	3.00	3.60	10.83	2.25E+11	30.00	86.2	63.8
18	140,20,00	35,17,00	3.00	3.60	10.83	2.25E+11	50.00	80.1	61.5

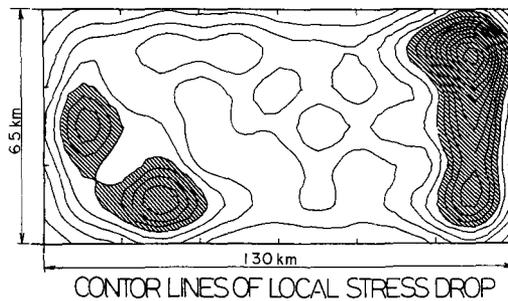


Fig.10 Assumed distribution of the local stress drop on fault plane

averaging to some extent. The distribution of local stress drop on the fault plane was determined so that the point near the start and end points of rupture on the fault plane of the Kanto Earthquake become greater as shown with shadow part which is over about 20 bar. As for the underground structure at the analytical point of Hongo, the model uses one made by S. Midorikawa and H. Kobayashi¹²⁾ based on the investigation of deep underground structure by explosion experiment.

5-2 Comparative study of characteristics of seismic motion

Since the frequency characteristics of the theoretical seismic wave for body wave obtained in the previous section does not always match with those of the observed record, the surface wave of the underground structure of Hongo was newly established and integrated with the body wave. It is found from Fig. 11 that

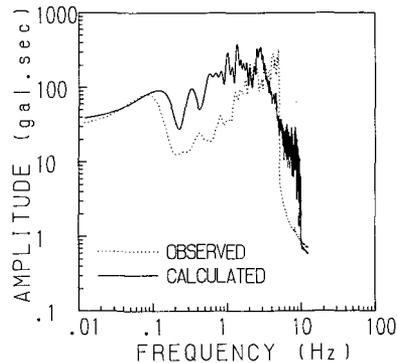


Fig.11 Comparison of the Fourier Spectra of seismic wave

frequency characteristics are almost coincident as a whole but show a difference of about 1 Hz on the high frequency range over 1 Hz. The running spectrum analysis shows the results of the comparison study between the calculation result and the observed record of acceleration in Fig. 12 and Fig. 13, in which the analytical result appears to be shifted by 1 Hz to the low frequency range side due to the above reason, but the strong motion phase is very much coincident. The reason why the above frequency characteristics were

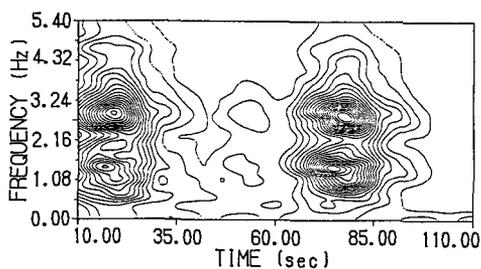


Fig.12 Result of the running Fourier spectral analysis concerned with the synthetic seismic wave based on multiple source model

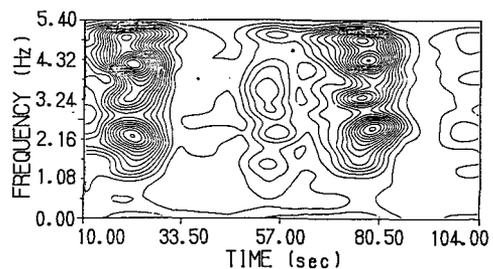


Fig.13 Result of the running Fourier spectral analysis concerned with the synthetic seismic wave based on observed record

obtained can be explained by several accounts, but it is partly attributable to the point that circular cracks with uniform size which simulate the complicate fault movement are uniformly arranged in the rupture zone. Namely, this is because the barrier model is uniformly arranged, therefore, taking into consideration this point, the seismic wave by source parameter is regarded as coincident with that of the observed record.

5-3 Calculation of seismic intensity distribution

Since the seismic intensity distribution was calculated by the linear calculation in the aforementioned study of the middle-scale earthquake, comparatively greater values were taken as parameters at the point with smaller hypocenter distance. However, the plastic effect of soft surface ground can hardly be neglected at an acceleration level of the Kanto Earthquake with magnitude of as much as 8. Therefore, in this study, after

elastic calculation in the conventional method, the analysis was made in the following method in order to evaluate the elastic effect of the only surface ground. As shown in Fig. 14, maximum acceleration value

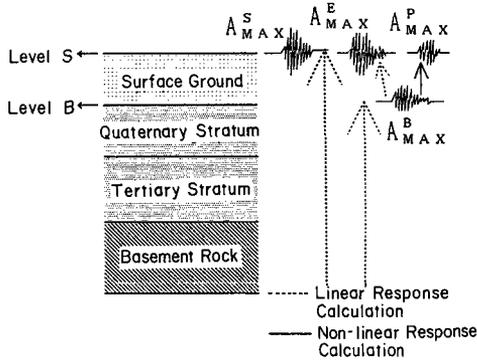


Fig.14 Conception for the treatment of effect concerned with the non-linear characteristics of soft surface sub-soil ground

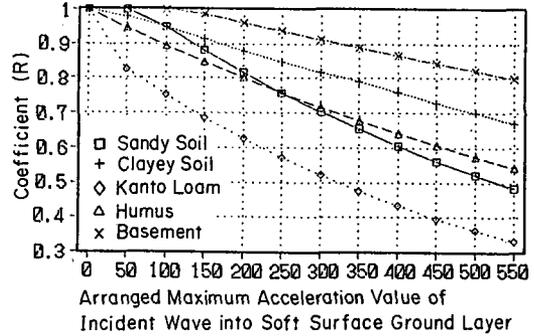


Fig.15 Distribution of coefficients (R) for the effect of non-linear characteristics concerned with classified surface ground condition types

A_{MAX}^B is calculated at the analytical point of Hongo from the linear calculation on the underground model except for the surface ground. By taking the seismic wave for analysis at level B as input wave, elasto-plastic response calculation and elastic response calculation are carried out, under non-linear calculation program, for each parameter of 5 kinds of surface ground listed in Table 1. In order to assess the plastic effect corresponding to A_{MAX}^B value, A_{MAX}^B is subjected to normalization by steps of 50 gal in a range of 50 gal to 550 gal, and A_{MAX}^P and A_{MAX}^E are calculated in elasto-plastic response calculation and elastic response calculation. Then, the ratio of the above two is calculated and coefficient R is obtained according to the breakdown by the maximum value and the soil type (5 kinds).

Table 3 Assumed coefficients (R) for the effect of non-linear characteristics concerned with classified surface-ground condition types

Arranged Maximum Acceleration Value (gal)	Classified Surface Ground Condition Type				
	Sandy Soil	Clayey Soil	Loam	Humus	Basement
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
50	1.00	0.98	0.82	0.95	1.00
100	0.95	0.95	0.75	0.89	1.00
150	0.88	0.91	0.69	0.85	0.99
200	0.82	0.88	0.63	0.80	0.96
250	0.76	0.85	0.57	0.76	0.94
300	0.70	0.82	0.52	0.72	0.91
350	0.65	0.79	0.48	0.68	0.89
400	0.61	0.76	0.43	0.64	0.87
450	0.56	0.73	0.40	0.61	0.84
500	0.52	0.70	0.36	0.57	0.82
550	0.48	0.67	0.33	0.54	0.80

Further, the above results are approximated for each soil type by regression curve using the least square method shown in Fig. 15. Coefficient R (Table 3) from regression curve which is determined by A_{MAX}^B and the soil type of mesh is multiplied by the maximum value A_{MAX}^S on the ground surface (S Level) obtained by

the conventional linear calculation to compute the maximum acceleration value with respect to the plastic effect of the surface ground. The maximum acceleration value ($A_{Max} = A_{S_{Max}} \times R$) obtained by the above analytical method was subjected to conversion as for all meshes into seismic intensity by the expression for transfer

$$I_{JMA} = (\text{Log } (A_{Max}) + 0.35) \times 2.0 \quad \dots \dots (1)$$

which converts into JMA Intensity Scale by H. Kawasumi in order to examine seismic intensity distribution. In addition, after smoothing the above results by the fitting method of quadratic curved surface, an iso-seismal map was drawn up as illustrated in Fig. 16. This iso-seismal map takes into account the plastic effect of the surface ground and is extremely coincident with the ratio of destroyed wooden houses in the Kanto Earthquake as shown in Fig. 17 as far as the area with high seismic intensity is concerned.

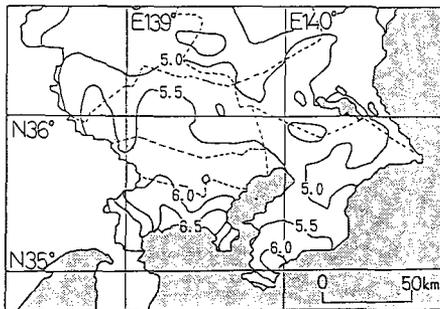


Fig. 16 Isoseismal map of the 1923 Great Kanto Earthquake based on the synthetic seismic wave using the multiple source model

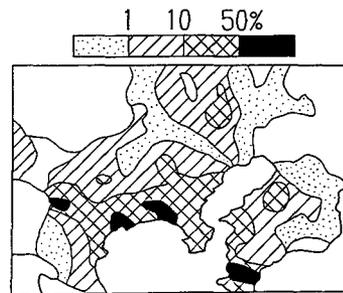


Fig. 17 Contour map of the destroyed wooden houses in the 1923 Great Kanto Earthquake

5-4 Comparison of design averaged response spectra and attenuation

In contrast to seismic wave characteristics and seismic intensity distribution of the Kanto Earthquake calculated by the above method, design-use averaged response spectra and attenuation were compared. In the General Project "Development of the new earthquake resistant design", average image of input seismic wave in Japan is given. The averaged response accelerational spectrum with respect to the classification can be obtained by the magnitude and epicentral distance from seismic wave of 227 elements acquired on various soil types. Fig. 18 shows the comparison between the above average spectrum and the analytical results at Hongo point, and it is found that they coincide very well. On the other hand, Fig. 19 describes the comparison of the

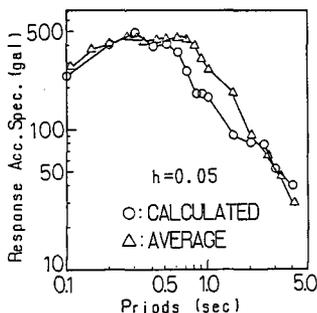


Fig. 18 Comparison between the acceleration response spectra ($h=5\%$) based on the proposed specific code for earthquake resistant design and synthetic seismic wave by multiple source model

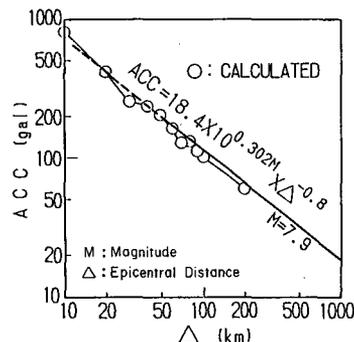


Fig. 19 Comparison between the attenuation relations of maximum acceleration value based on the proposed specific code for earthquake resistant design and synthetic seismic wave by multiple source model

attenuation curve of the maximum acceleration value calculated from regression analysis of 301 pieces of strong motion record which have occurred in Japan with that calculated from this analysis. The maximum acceleration distribution in this study is limited to 200 km range and is not applicable to the range of the epicenter distance (Δ) of less than 50 km on the attenuation curve. However, both appear to coincide very well in a range of 50 km – 200 km. The above coincidence is likely to show that the parameter setting in this study was appropriate and the analysis was precise.

6. Conclusions

In this study, seismic wave characteristics as for a middle-scale earthquake and seismic intensity distribution were estimated using the multiple source model while varying source parameters with reference to the regionality of the seismic wave characteristics obtained from the study of middle- and small-scale earthquakes, which are based on array observed record. Then, taking into account these study results, the seismic wave characteristics of the Kanto Earthquake were reconsidered on the multiple source model and seismic intensity distribution was calculated with regard to the plastic effect of the surface ground. As a result, input wave characteristics were very well evaluated by this method. Therefore, this attests that the analytical methods in this study, including calculation method of seismic intensity distribution, were almost appropriate and carried out with precision, which provides the broad picture of seismic wave characteristics of the Great Kanto Earthquake, and it will be also helpful for the study of input seismic wave for design and earthquake disaster mitigation program.

<References>

- 1) Parageorgiou A.S., Aki K.; A specific barrier model for quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion I. Description of the model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, No.3, 1983, PP.693-722
- 2) Kanamori H., Ando M.; Fault parameters of the Great Kanto Earthquake of 1923, *Publication for the 50th Anniversary of the Kanto Earthquake, 1923*, The Earthquake Research Institute, University of Tokyo, PP.89-101
- 3) Morioka T., Yamada M.; Attempt to estimate the maximum ground motion of the Great Kanto Earthquake of 1923, *Proc. of the 7th Japan Earthquake Engineering Symposium*, 1986, PP.109-114
- 4) Kanagawa Prefecture; Report on the estimation of earthquake damages in Kanagawa Prefecture (Geological ground condition), 1985
- 5) Sasamoto O., Fujimoto M., Mochizuki T., Enomoto T.; On earthquake wave characteristics at the rock based on the earthquake records by array observation system Part 9. On the regional characteristics of source parameter Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, 1990, PP.301-302
- 6) Sasamoto O., Mochizuki T., Enomoto T., Fujimoto M.; Study on the seismic intensity distribution of the 1923 Great Kanto Earthquake by using multiple source model, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, 1991, PP.515-516
- 7) Land Agency of Japan; The classification map of ground condition (1;200,000), Japan Map Center, 1991
- 8) Geological Survey of Japan; Tectonic Maps Series 2, Neotectonic Map Tokyo 1;500,000, 1973
- 9) Goto N., Kawachi K., Muto A., Komiyama H.; High density survey of seismic intensity distribution - The October 4th, 1985 southern part of Ibaraki Prefecture Earthquake -, Program and Abstract, The Seismological Society of Japan, 1987, No.1, P.278
- 10) Mochizuki T., Taniuchi Y., Shiono K., Ehara N.; On the seismic intensities and damages in Chiba Prefecture by the 1987 East off Chiba Prefecture Earthquake, *Comprehensive Urban Studies*, Tokyo Metropolitan University, No. 35, 1988, PP.5-31
- 11) Kamiyama M.; Earthquake source characteristics inferred from the statistically analyzed spectra of strong motions with aid to dynamic model of faulting, *Proc. of the Japan Society of Civil Engineering*, No.386/1-8, 1987, PP.175-184
- 12) Midorikawa S., Kobayashi H.; On estimation of strong earthquake motions with regard to fault rupture, *Transactions of the Architectural Institute of Japan*, No.282, 1979, PP.71-81 Earthquake engineering data, *Proc. of the 6th Japan Earthquake Engineering Symposium*, 1982, PP.265-272
- 14) Ministry of Construction; Proposal of the new earthquake resistant design method, *Technical Research Report of General Project for the Development of New Earthquake Resistant Design*, 1977